

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pertanian kopi

Provinsi Bengkulu merupakan salah satu daerah produsen kopi Robusta terbesar di Indonesia, selain Lampung dan Sumatera Selatan. Ketiga sentra produksi tersebut dikenal sebagai salah satu “segitiga emas” produsen kopi di Indonesia. Kontribusi ketiga sentra produksi kopi tersebut terhadap total produksi kopi nasional pada tahun 2021 sekitar 50%, adapun kontribusi Bengkulu sebesar 8% terhadap total produksi kopi Indonesia, yaitu sekitar 63 ribu ton. Kondisi topografi Kabupaten Rejang Lebong yang merupakan salah satu wilayah penghasil utama kopi Robusta di Provinsi Bengkulu yang berada di ketinggian lebih dari 1.000 m dpl. sehingga sangat berpotensi untuk diarahkan ke pengembangan fine Robusta di lokasi tersebut. Terlebih lagi, metode petik merah kopi dan teknik pengolahan kopi metode basah telah disosialisasikan serta telah dibangunnya unit pengolahan kopi basah di wilayah tersebut (Faila *et al.*, 2021).

Di sekitar Kecamatan Sindang Dataran, tanaman kopi Robusta di perkebunan rakyat rata-rata berumur 30 tahun. Petani telah menerima dan mengaplikasikan teknologi penyambungan sejak awal tahun 1990-an, yang dilakukan pertama kali oleh petani transmigran asal Dampit, Jawa Timur yang juga merupakan wilayah penghasil kopi Robusta (Faila *et al.*, 2021).

Berjarak 81,40 km dari Ibu Kota Provinsi Bengkulu, Kabupaten Rejang Lebong (beribu kota Curup) mencakup area seluas 1.515,76 km² di ketinggian

500–2.000 mdpl. Daerah yang terbagi menjadi 15 kecamatan serta 156 desa/kelurahan ini menempatkan sektor pertanian sebagai penopang hidup utama bagi 52,62% populasinya (Listyati *et al.*, 2021).

1. Kegiatan pertanian kopi

a. Persiapan Lahan dan Penanaman Bibit

Tahap pertama dimulai dengan pemilihan lahan yang sesuai berdasarkan jenis kopi, seperti Arabika di dataran tinggi dan Robusta di dataran rendah. Lahan dibersihkan dari gulma dan tanaman pengganggu, lalu diberi tanaman pelindung seperti lamtoro untuk mengurangi paparan sinar matahari langsung. Lubang tanam berukuran sekitar 40×40×40 cm dibuat dengan jarak 2,5×2,5 meter, sementara tanah diperbaiki agar subur, gembur, memiliki pH 5,5–6,5, dan drainase baik. Bibit unggul dipilih dari benih atau stek sehat, kemudian disemaikan dan dipindahkan ke polybag hingga siap tanam. Setelah bibit cukup kuat, bibit ditanam ke lahan dengan hati-hati dan ditutup dengan tanah galian.

b. Monitoring dan Identifikasi Hama serta Penyakit

Setelah penanaman, tanaman kopi harus dipantau secara rutin untuk mendeteksi sedini mungkin adanya hama atau penyakit. Pemeriksaan dilakukan pada daun, batang, dan buah untuk melihat gejala serangan, seperti bercak kuning, lubang pada buah, atau perubahan warna daun. Hama utama yang harus diwaspadai antara lain penggerek buah kopi dan kutu perisai hijau, sedangkan penyakit umum meliputi karat daun kopi

dan infeksi nematoda. Identifikasi ini penting untuk menentukan jenis pengendalian yang tepat sebelum serangan menjadi berat.

c. Pengendalian Hama dan Penyakit dengan Pestisida

Pengendalian dilakukan dengan metode Pengendalian Hama Terpadu (PHT) agar penggunaan pestisida tetap bijak dan aman. Langkah ini mencakup teknik kultur seperti pemangkasan daun, pengaturan jarak tanam, dan sanitasi kebun untuk meminimalkan perkembangan patogen. Selanjutnya, pengendalian hayati menggunakan musuh alami seperti jamur *Beauveria bassiana* atau *Trichoderma* dapat membantu menekan populasi hama. Pestisida nabati dari bahan alami seperti ekstrak mimba atau bawang putih juga dapat dipakai secara berkala. Jika serangan cukup berat, pestisida kimia berupa fungisida atau insektisida dapat digunakan sesuai dosis yang direkomendasikan dan dengan alat pelindung diri.

d. Jadwal dan Frekuensi Penyemprotan

Penyemprotan pestisida tidak dilakukan secara rutin tetapi berdasarkan hasil monitoring dan ambang batas populasi hama. Penyemprotan dilakukan hanya bila tanaman menunjukkan gejala atau populasi hama melewati batas yang merugikan. Untuk penyakit karat daun, fungisida kontak dapat diaplikasikan setiap 2–3 minggu jika diperlukan. Pestisida kimia tidak boleh digunakan berlebihan agar tidak menimbulkan resistensi, pencemaran lingkungan, dan bahaya residu pada

hasil panen. Penggunaan harus memperhatikan petunjuk teknis dan masa henti sebelum panen.

e. Evaluasi dan Keamanan Penggunaan Pestisida

Setelah pengendalian dilakukan, petani harus mengevaluasi kondisi tanaman untuk memastikan bahwa serangan hama atau penyakit berhasil ditekan. Catatan mengenai jenis pestisida, waktu aplikasi, dan efektivitasnya harus disimpan untuk perbaikan strategi pada musim berikutnya. Keamanan petani dan lingkungan harus menjadi prioritas dengan penggunaan alat pelindung diri dan penerapan pestisida yang sesuai aturan. Pendekatan yang tepat dalam pengendalian pestisida akan menjaga produktivitas kopi sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap ekosistem.

B. Pengertian pestisida

Merujuk pada Permentan No. 43/2011, pestisida mencakup bahan kimia atau biologis yang digunakan untuk membasmi organisme pengganggu seperti jamur, gulma, dan serangga demi menjaga produktivitas pertanian dari ancaman hama (Kementerian Pertanian, 2011)

Pestisida memang berperan penting dalam meningkatkan produktivitas pertanian dengan cara mengendalikan organisme pengganggu tanaman seperti serangga, gulma, dan jamur. Namun, ketika digunakan secara berlebihan, tidak terkontrol, atau tanpa memperhatikan standar keselamatan kerja, pestisida dapat menimbulkan risiko serius bagi kesehatan manusia. Paparan langsung melalui kulit, pernapasan, atau tertelan dapat menyebabkan gejala

akut seperti mual, pusing, iritasi kulit, hingga gangguan pernapasan. Dalam jangka panjang, akumulasi bahan kimia pestisida di dalam tubuh dapat memicu kerusakan organ vital seperti hati dan ginjal, gangguan sistem saraf, gangguan hormonal, serta peningkatan risiko kanker (Triana Srisantyorini, 2023).

Selain berdampak pada manusia, lingkungan juga turut terpengaruh. Residu pestisida yang terbawa air hujan dapat mencemari tanah dan sumber air, mengganggu keseimbangan ekosistem, serta membahayakan organisme non-target seperti ikan, burung, dan serangga penyerbuk. Pestisida yang sulit terurai dapat bertahan lama di lingkungan dan mengalami bioakumulasi pada rantai makanan, sehingga efek toksiknya dapat meningkat dari waktu ke waktu. Oleh karena itu, penerapan prinsip kehati-hatian dan penggunaan pestisida secara bijak (*integrated pest management/IPM*) sangat penting untuk meminimalkan risiko terhadap kesehatan manusia dan menjaga kelestarian lingkungan (World Health Organization, 2020).

C. Jenis-jenis pestisida

Berbagai jenis pestisida diketahui dapat memengaruhi fungsi ginjal melalui mekanisme toksik yang berbeda-beda:

1. Senyawa *organofosfat* seperti *malathion* dan *chlorpyrifos* dapat merusak ginjal akibat hambatan enzim *asetilkolinesterase* dan peningkatan stres oksidatif. Kerusakan fungsi ini terlihat nyata dari menurunnya laju filtrasi glomerulus (GFR) yang disertai penumpukan ureum dan kreatinin (Wan & Al., 2021).

2. *Karbamat*, seperti *carbaryl* dan *aldicarb*, memiliki mekanisme serupa namun lebih mudah terurai paparan kronis dapat menyebabkan kerusakan *tubulus* ginjal dan gangguan *ekskresi metabolit*(Gilden et al., 2010).
3. *Organoklorin*, seperti DDT (*Dichloro-Diphenyl-Trichloroethane*) dan *lindane*, bersifat *lipofilik* dan persisten sehingga cenderung terakumulasi dalam jaringan lemak dan organ vital termasuk ginjal, menyebabkan *degenerasi* sel ginjal dan stres *oksidatif* kronis(Khan & Al., 2023).
4. *Piretroid*, seperti *permethrin* dan *cypermethrin*, bekerja dengan mengganggu *kanal natrium* pada *neuron* dan dapat menimbulkan kerusakan histologis ginjal serta peningkatan kadar kreatinin pada paparan tinggi (Badr & Al., 2018).
5. *Herbisida* seperti *paraquat* dan *glyphosate* menghasilkan radikal bebas reaktif yang menyebabkan kerusakan *nefron* dan gagal ginjal akut, bahkan dikaitkan dengan munculnya *chronic kidney disease of unknown etiology* (CKDu) di kalangan petani (Jayasumana & Al., 2015).

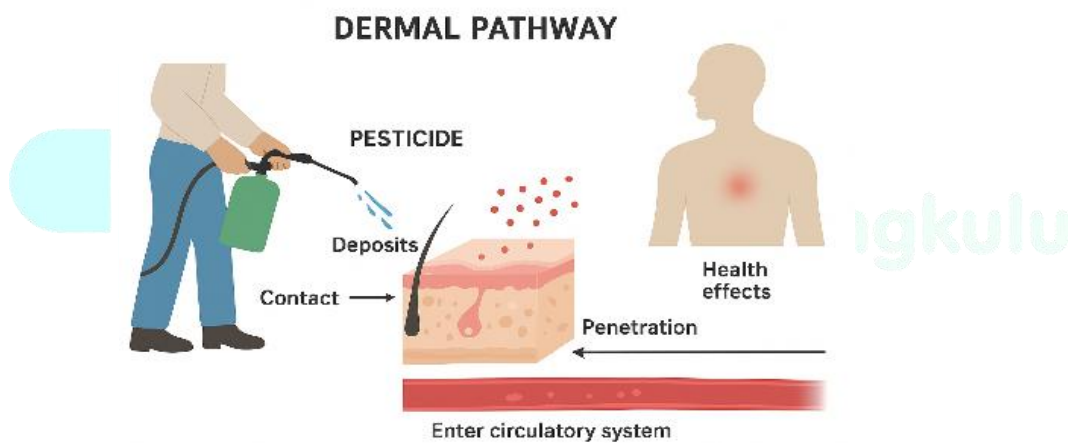
D. Cara masuknya pestisida ke tubuh

1. Jalur Dermal (Penyerapan melalui Kulit)

Pestisida bisa masuk ke tubuh lewat kulit, terutama jika kontak langsung dengan cairan, butiran, atau residu pestisida. Kondisi kulit yang lembap atau luka, serta penggunaan APD yang tidak lengkap, meningkatkan

penyerapan lewat kulit. Penelitian di Kabupaten Ogan Ilir menunjukkan bahwa petani yang tidak menggunakan pelindung diri lengkap seperti sarung tangan, baju lengan panjang, masker, atau kacamata mengalami gejala subjektif seperti kulit kemerahan, gatal, dan kesemutan, yang mengindikasikan bahwa kontak kulit menjadi rute penyerapan yang signifikan (Rahmasari, D. A., & Musfirah, 2022).

APD yang tidak lengkap memperpanjang kontak pestisida dengan kulit, memicu penyerapan zat beracun yang lebih tinggi dan meningkatkan risiko keracunan (Setiyobudi & Setiani, 2013).



Gambar 2.1 Jalur Dermal

1) Kontak

Tahap pertama adalah kontak langsung antara pestisida dan kulit petani. Hal ini biasanya terjadi saat proses pencampuran, penyemprotan, atau pembersihan alat semprot tanpa menggunakan alat pelindung diri yang memadai. Kulit menjadi jalur utama masuknya pestisida karena luas permukaannya yang besar dan sering terpapar selama aktivitas pertanian. Kontak kulit dapat terjadi akibat percikan, tumpahan, atau uap pestisida

yang menempel di tubuh, terutama pada tangan, lengan, wajah, dan leher. Tingkat paparan meningkat bila petani bekerja di lingkungan panas yang menyebabkan pori-pori kulit terbuka.

2) Deposisi

Setelah kontak terjadi, zat pestisida akan menempel di permukaan kulit melalui proses yang disebut deposisi. Zat aktif dalam pestisida dapat menempel pada lapisan epidermis atau bercampur dengan keringat dan minyak alami kulit. Faktor lingkungan seperti kelembapan, suhu, dan lamanya paparan sangat berpengaruh terhadap jumlah pestisida yang terdeposit di kulit. Penelitian menunjukkan bahwa jenis formulasi pestisida (cair, serbuk, atau emulsi) juga menentukan tingkat deposisi menuju formulasi cair cenderung lebih mudah melekat dan meresap dibandingkan bentuk serbuk.

3) Penetrasi

Tahap berikutnya adalah penetrasi, yaitu saat pestisida mulai menembus lapisan kulit. Zat kimia aktif dalam pestisida dapat melewati lapisan *epidermis* dan *dermis*, terutama jika terjadi luka kecil, kulit lembap, atau adanya gesekan berulang. Penetrasi ini difasilitasi oleh sifat *lipofilik* (larut lemak) pestisida yang memungkinkannya melintasi membran lipid kulit. Senyawa *organofosfat* dan *karbamat* termasuk pestisida dengan kemampuan penetrasi tinggi karena mudah larut dalam lipid, sehingga dapat mencapai pembuluh kapiler di bawah kulit.

4) Masuk ke sistem peredaran darah

Setelah melewati lapisan *dermis*, pestisida akan masuk ke sistem peredaran darah melalui kapiler kulit. Dari sini, pestisida dapat menyebar ke seluruh tubuh dan berinteraksi dengan berbagai organ, termasuk hati dan ginjal sebagai organ *detoksifikasi* utama. Proses *absorpsi* sistemik ini dapat terjadi dalam waktu singkat tergantung pada jenis pestisida, dosis, serta kondisi fisiologis individu. Pestisida yang masuk ke sirkulasi darah dapat terikat pada protein plasma dan kemudian didistribusikan ke organ target, di mana zat tersebut dapat menimbulkan efek toksik.

5) Efek kesehatan

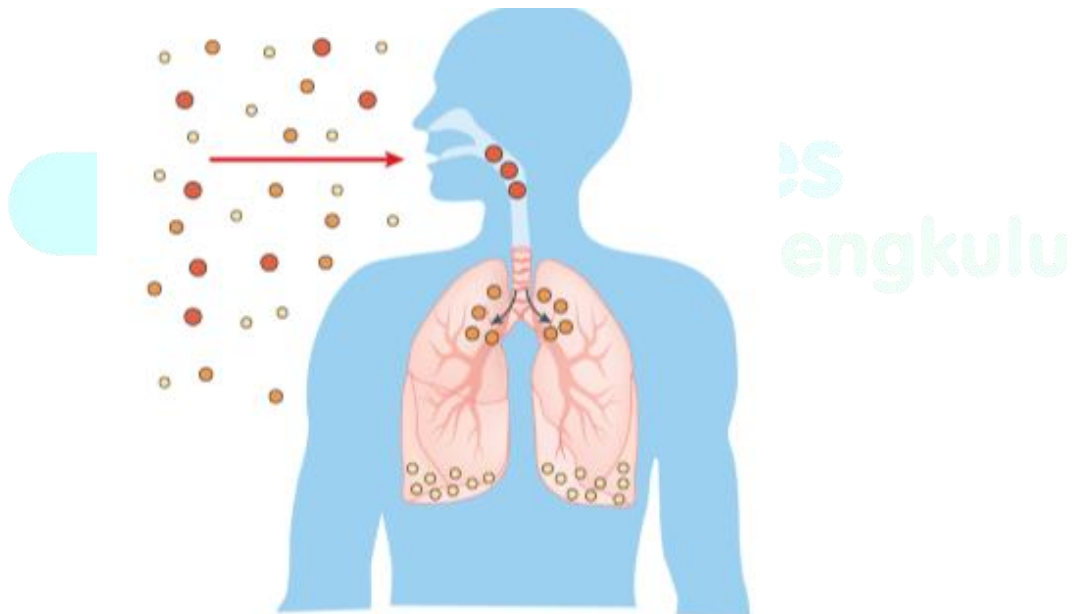
Tahap akhir dari paparan ini adalah timbulnya efek kesehatan akibat *toksisitas* pestisida. Efeknya bisa bersifat akut seperti iritasi kulit, *dermatitis*, mual, pusing, dan gangguan saraf, atau bersifat kronis seperti gangguan fungsi hati dan ginjal akibat akumulasi bahan kimia dalam tubuh. Ginjal menjadi salah satu organ yang rentan karena berperan dalam *ekskresi* pestisida dan metabolitnya. Paparan kronis pestisida dapat menyebabkan stres *oksidatif* dan kerusakan seluler pada organ vital seperti ginjal dan hati, sehingga memengaruhi fungsi fisiologis secara keseluruhan (Macfarlane et al., 2013).

2. Jalur pernapasan (Inhalasi)

Pestisida dapat terhirup oleh pekerja saat proses penyemprotan atau apabila ada residu yang menguap atau terdispersi ke udara. Partikel *aerosol*, kabut (*mist*), atau debu yang mengandung pestisida dapat masuk ke saluran

pernapasan dan dari *alveoli* paru-paru diserap ke dalam aliran darah(Ilyas Ibrahim et al., 2024).

Paparan pestisida melalui inhalasi dapat berkontribusi terhadap perubahan kadar kreatinin dan ureum, karena senyawa pestisida maupun metabolitnya dapat masuk ke dalam sirkulasi darah melalui jaringan paru-paru. Zat toksik yang beredar dalam darah selanjutnya difiltrasi oleh ginjal, dan paparan yang terjadi secara berulang berpotensi menurunkan kemampuan filtrasi ginjal sehingga menyebabkan akumulasi produk sisa metabolisme dalam darah (Silitonga, 2025).



Gambar 2.2 Jalur Inhalasi

a. Penghirupan (*Inhalasi*)

Tahap pertama adalah proses penghirupan pestisida yang terlepas ke udara dalam bentuk uap, kabut, atau debu halus saat penyemprotan. Ketika petani bekerja tanpa menggunakan masker atau pelindung

pernapasan, partikel pestisida dapat dengan mudah masuk melalui hidung atau mulut. Kondisi lingkungan seperti suhu tinggi, arah angin, dan teknik penyemprotan yang kurang tepat dapat meningkatkan jumlah pestisida yang tersebar di udara dan terhirup oleh petani.

b. Masuk ke saluran pernapasan

Setelah terhirup, partikel pestisida akan melewati saluran pernapasan bagian atas hingga ke paru-paru. Jalur yang dilalui mencakup rongga hidung, tenggorokan, *trakea*, *bronkus*, dan akhirnya *bronkiolus*. Sebagian partikel mungkin tersaring oleh lendir dan rambut halus (*silia*) di saluran napas, namun partikel berukuran sangat kecil dapat terus bergerak hingga mencapai bagian terdalam paru-paru. Proses ini membuat pestisida mudah mencapai area *alveoli* tempat pertukaran gas berlangsung.

c. Deposisi di paru-paru (*Alveoli*)

Endapan partikel halus pestisida pada *alveoli* dapat menyebabkan peradangan jaringan paru. Kontak secara berulang berisiko menurunkan fungsi pernapasan serta memicu gejala klinis seperti batuk dan sesak napas.

d. Penyerapan ke darah

Setelah menempel di *alveoli*, senyawa pestisida dapat menembus membran tipis *alveoli* dan masuk ke pembuluh darah kapiler di sekitarnya. Proses ini terjadi karena *alveoli* memiliki permukaan yang luas dan sangat mudah dilalui oleh zat kimia yang larut dalam lemak. Pestisida yang telah

masuk ke dalam aliran darah kemudian akan terbawa ke seluruh tubuh melalui sistem peredaran darah. Proses ini memungkinkan pestisida mencapai organ-organ penting dalam waktu singkat.

e. Efek kesehatan

Pestisida dalam darah yang terdistribusi ke organ vital sangat berisiko merusak ginjal akibat perannya sebagai penyaring racun, memicu peningkatan kadar ureum, kreatinin, dan kerusakan jaringan. Selain itu, penyerapan racun lewat inhalasi berpotensi mengganggu fungsi saraf, sistem pernapasan, serta memicu kelelahan kronis pada petani (Tudi et al., 2022).

3. Jalur Oral / Ingesti

Pestisida dapat masuk melalui mulut, baik karena konsumsi air atau makanan yang terkontaminasi, atau karena kebiasaan buruk seperti makan/minum/tangan kotor selama atau setelah aplikasi pestisida. Selain itu residu pada pakaian atau peralatan kerja yang kemudian disentuh tangan dan masuk ke mulut juga merupakan jalur *oral*. penelitian ini, ditemukan bahwa ibu hamil yang bekerja di lahan pertanian bisa terpapar pestisida lewat makanan, air, atau kontak dengan pakaian petani yang terkontaminasi, lalu pestisida tersebut masuk ke dalam tubuh melalui mulut (*oral*) (Sulistyawati et al., 2019).

a. Masuk Ke Mulut (Ingesti)

Jalur ingesti terjadi saat pestisida tertelan secara tidak sengaja melalui tangan yang kotor, peralatan tercemar, serta konsumsi makanan atau air yang terkontaminasi. Kurangnya aroma atau rasa yang mencolok pada bahan kimia ini membuat pemaparan sering kali berlangsung tanpa disadari.

b. Masuk ke saluran pencernaan

Setelah tertelan, pestisida akan melewati saluran pencernaan, dimulai dari kerongkongan, kemudian menuju lambung, dan akhirnya ke usus halus. Di sepanjang jalur ini, pestisida dapat mengalami proses pelarutan sebagian dan mulai diserap oleh dinding mukosa lambung atau usus. Tingkat penyerapan bergantung pada jenis pestisida, pH lambung, serta waktu paparan. Pestisida yang bersifat asam atau netral lebih mudah bertahan dalam kondisi asam lambung dan dapat berinteraksi dengan jaringan pencernaan, sehingga meningkatkan potensi *toksitas*.

c. Absorpsi di Usus Halus

Tahap utama penyerapan pestisida terjadi di usus halus, karena organ ini memiliki permukaan yang luas dengan banyak lipatan dan pembuluh darah kapiler. Lapisan epitel usus memiliki kemampuan tinggi dalam menyerap berbagai zat, termasuk senyawa kimia yang larut dalam lemak. Pestisida yang bersifat *lipofilik* akan dengan mudah menembus

membran sel dan masuk ke sistem peredaran darah. Proses ini memungkinkan pestisida menyebar dengan cepat ke seluruh tubuh. Jika jumlah yang diserap melebihi kemampuan *detoksifikasi* tubuh, senyawa tersebut dapat menumpuk dan menimbulkan efek toksik.

d. Metabolisme di Hati

Setelah diserap dari usus halus, pestisida akan dialirkan melalui *vena porta hepatica* menuju hati, tempat terjadinya proses metabolisme. Di hati, enzim-enzim *detoksifikasi* bekerja untuk memecah pestisida menjadi bentuk yang lebih mudah larut dalam air agar dapat diekskresikan melalui urin atau empedu. Namun, dalam beberapa kasus, proses metabolisme ini justru dapat menghasilkan metabolit yang lebih toksik daripada senyawa asalnya. Kondisi ini dapat memperburuk kerusakan sel hati dan meningkatkan risiko paparan terhadap organ lain seperti ginjal dan sistem saraf.

e. Distribusi ke Organ Target

Dari hati, pestisida atau hasil metabolismenya akan menyebar ke berbagai organ tubuh melalui aliran darah. Salah satu organ utama yang menerima dampak adalah ginjal, karena berperan penting dalam proses penyaringan darah dan pembuangan zat berbahaya. Pestisida yang bersifat persisten dapat menumpuk di jaringan ginjal, menyebabkan gangguan pada fungsi *filtrasi* dan kerusakan sel *nefron*. Selain ginjal, pestisida juga

dapat mencapai otak, jantung, atau sistem reproduksi, tergantung pada sifat kimiawi dan daya ikatnya terhadap jaringan tubuh.

f. Efek Kesehatan

Paparan pestisida melalui jalur oral dapat menyebabkan berbagai efek kesehatan akut maupun kronis. Dalam jangka pendek, seseorang mungkin mengalami mual, muntah, sakit perut, dan diare akibat iritasi pada saluran pencernaan. Sedangkan paparan kronis yang berlangsung lama dapat menyebabkan kerusakan hati dan ginjal, karena kedua organ tersebut berperan dalam *detoksifikasi* dan ekskresi bahan kimia berbahaya. Akumulasi senyawa toksik di ginjal dapat menurunkan kemampuan organ ini dalam menyaring darah, meningkatkan kadar *ureum* dan *kreatinin*, serta berpotensi menyebabkan gagal ginjal pada paparan berat (Ma et al., 2024).

E. Mekanisme pestisida ke tubuh

Setelah pestisida masuk ke tubuh melalui kulit, inhalasi, atau oral, senyawa aktif dan/atau metabolitnya terdistribusi lewat darah dan mencapai organ-organ detoksifikasi seperti hati dan ginjal. Karena ginjal berfungsi menyaring dan mengeluarkan metabolit melalui filtrasi glomerulus dan sekresi tubulus, konsentrasi toksikan di jaringan ginjal (terutama *tubulus*) relatif tinggi sehingga ginjal menjadi organ target utama dari efek nefrotoksik. Zat pestisida yang bersirkulasi dalam darah dapat melewati kapiler glomerulus dan masuk ke

ruang kapsula Bowman selama proses filtrasi glomerulus. Molekul pestisida yang berukuran kecil dan larut dalam air akan ikut tersaring bersama plasma. Proses ini menjadi tahap awal di mana toksikan berinteraksi langsung dengan jaringan ginjal. Penelitian nasional menjelaskan bahwa pestisida yang bersifat larut air dapat terakumulasi di nefron melalui proses filtrasi glomerulus yang berulang (Dewi et al., 2021).

Pestisida yang telah melewati glomerulus selanjutnya masuk ke sistem tubulus ginjal. Pada bagian tubulus proksimal, beberapa pestisida atau metabolitnya dapat mengalami proses reabsorpsi kembali ke sel, atau bahkan sekresi aktif dari darah ke lumen. Karena aktivitas metabolik dan transport di tubulus sangat tinggi, akumulasi toksikan sering terjadi di sini. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan kadar ureum dan kreatinin yang mencerminkan gangguan filtrasi dan reabsorpsi (Rai, 2022).

Karena ginjal berperan penting dalam detoksifikasi dan ekskresi zat sisa, pestisida dan metabolitnya cenderung mengalami pemekatan (concentration effect) di jaringan ginjal. Kondisi kerja petani seperti dehidrasi dan stres panas dapat memperparah efek ini karena volume plasma yang berkurang membuat zat toksik lebih pekat di ginjal. Penelitian literatur di Indonesia menegaskan bahwa paparan pestisida yang kronik memperbesar risiko akumulasi toksikan di ginjal yang akhirnya menimbulkan disfungsi ginjal (Dewi et al., 2021).

Distribusi pestisida ke ginjal juga dipengaruhi oleh gradien konsentrasi antara plasma darah dan jaringan ginjal. Pestisida yang bersifat lipofilik

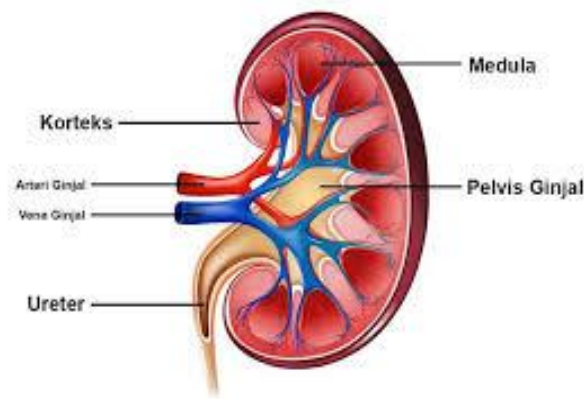
cenderung berdifusi melewati membran sel dan menumpuk di jaringan ginjal, sedangkan yang hidrofilik lebih cepat diekskresikan. Penelitian menunjukkan bahwa pestisida yang terakumulasi di ginjal dapat menginduksi perubahan morfologi dan menurunkan kapasitas filtrasi (Sobolev et al., 2022).

Ginjal memiliki aliran darah tinggi (sekitar 20–25% dari curah jantung), sehingga zat-toksik termasuk pestisida sering kali mengalami distribusi lebih intensif di sini dibanding organ lain. Kondisi ini menyebabkan ginjal menjadi organ target utama toksisitas pestisida. Studi lokal pada petani menunjukkan bahwa paparan kronis pestisida berhubungan dengan peningkatan kadar ureum dan kreatinin darah akibat akumulasi toksikan di ginjal (Rai, 2022)

F. Ginjal

Ginjal berperan penting mempertahankan homeostatis tubuh melalui pengaturan cairan, asam-basa, hormonal, dan pembuangan limbah metabolisme. Organ berbentuk kacang yang terletak di area retroperitoneal ini berbobot sekitar 115–170 gram (ukuran panjang ~11,25 cm), dengan ginjal kiri berukuran sedikit lebih panjang. Tepat di atas tiap organ ginjal menempel kelenjar adrenal (Jadid, 2021).

1. Struktur Ginjal



GAMBAR 2.3 STRUKTUR GINJAL

Ginjal terdiri atas lapisan korteks, medula, dan pelvis renalis yang terbungkus kapsula fibrosa. Area hilus menjadi pintu masuk pembuluh darah dan ureter, sedangkan pelvis berfungsi menampung urine. Aktivitas penyaringan darah ginjal dikerjakan oleh unit fungsional mikroskopis berupa nefron yang jumlahnya mencapai 1,3 juta unit (Rivki *et al.*, 2022).

2. Pembungkus Ginjal

Dibalut oleh kapsula adiposa dan fasia renalis, ginjal memproses sekitar 170 liter darah harian dari arteri renalis. Setiap unit nefronnya bertumpu pada badan Malpighi yakni gulungan kapiler glomerulus yang terbungkus kapsula Bowman sebagai awal dari proses filtrasi darah :

1) Glomerulus

Gulungan kapiler terbungkus kapsula Bowman yang menjadi lokasi awal filtrasi darah.

2) Tubulus Proksimal Konvulta

Saluran berliku bermikrovilus (15 mm) yang berfungsi memperluas area penyerapan.

3) Ansa Henle

Saluran penyerap klorida dan natrium (2–14 mm) untuk menjaga keseimbangan muatan listrik.

4) Tubulus Distal Konvulta

Ujung nefron (5 mm) yang bersinggungan dengan arteriol aferen dan peka terhadap konsentrasi natrium.

5) Duktus Koligen Medulla

Saluran pengumpul yang mengatur sekresi kalium serta penyesuaian reabsorpsi natrium via hormon aldosteron (Rivki *et al.*, 2022).

3. Fungsi Ginjal

1) Menyaring.

Ginjal memproses sekitar 200 liter cairan dari sirkulasi darah setiap harinya secara berulang.

2) Pengolahan limbah

Mengeliminasi zat sisa serta ion berlebih ke dalam urine, sembari menyerap kembali nutrisi yang masih dibutuhkan tubuh.

3) Eliminasi.

Membuang sisa metabolisme nitrogen, racun, dan sisa obat-obatan keluar dari tubuh.

4) Pengaturan.

Menjaga volume darah serta Keseimbangan kadar air, garam, dan asam-basa cairan tubuh.

5) Regulasi.

Menghasilkan enzim renin untuk mengontrol tekanan darah dan hormon eritropoietin untuk merangsang pembentukan sel darah merah.

6) Konversi.

Sel-sel ginjal juga berperan untuk mengaktivasi vitamin D. (*Mubarak et al.*, 2022)

G. Ureum

Ureum merupakan senyawa nitrogen non protein yang ada di dalam darah. Ureum merupakan zat hasil metabolisme asam amino dalam tubuh yang terfiltrasi/tersaring sempurna pada glomerulus. ureum sering kali dihubungkan dengan prognosis pasien gagal ginjal, hal ini bisa disebabkan karena ureum terfiltrasi sempurna dari glomerulus (Rumbow, 2021).

Ureum adalah sisa pemecahan protein yang diubah oleh hati dari amonia, lalu dibuang oleh ginjal via urine. Jika fungsi penyaringan ginjal terganggu, ureum akan menumpuk dalam darah dan memicu keracunan pada tubuh (Yudianti, 2020). Ureum serum adalah indikator sensitif untuk mendeteksi toksisitas tubuh. Karena amonia diubah menjadi urea terutama di hati lalu diekskresikan oleh ginjal, penumpukan ureum akibat kegagalan penetralan racun ini berisiko fatal bagi fungsi organ vital (Sari and Hadi, 2023).

Penumpukan ureum yang memicu sindrom uremia pada pasien ginjal kronis berdampak sistemik ke seluruh tubuh. Kondisi ini umumnya menimbulkan

manifestasi klinis berupa mual-muntah, gangguan saraf dan otak, masalah kulit, hingga komplikasi fungsi jantung (Sari dan Hadi, 2023).

1. Metabolisme Ureum

Pelepasan gugus amino dari asam amino melibatkan enzim aminotransferase dan proses deaminasi oksidatif yang menghasilkan amonia. Senyawa amonia berbahaya ini selanjutnya dikirim ke hati untuk diproses melalui siklus urea menjadi zat netral (Maghfiroh *et al.*, 2020).

2. Pemeriksaan Ureum

Pemeriksaan kadar ureum metode kolorimetri enzimatik (prinsip Berthelot) didasarkan pada hidrolisis urea oleh enzim urease dan air untuk menghasilkan amonia serta karbon dioksida. Ion amonium yang terbentuk kemudian bereaksi dengan hipoklorit dan salisilat hingga menghasilkan kompleks warna hijau. Tingkat intensitas warna dari reaksi enzimatik ini selanjutnya diukur menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 578 nm (Lianti *et al.*, 2023).

3. Nilai Normal

Nilai Normal Ureum dalam serum (Rachmad and Setyawati, 2023)

Tabel 2. 1 Nilai Normal

Usia	Nilai Normal Ureum (mg/dL)
Laki-laki	19-40 mg/dL
Perempuan	15-40 mg/dL

4. Pengaruh Pestisida Terhadap Kadar Ureum

Pestisida adalah bahan kimia yang широко digunakan dalam pengendalian hama pada sektor pertanian dan perkebunan, serta dimanfaatkan untuk mengendalikan vektor penyakit di lingkungan permukiman maupun institusi(Purba et al., 2023). Petani yang melakukan penyemprotan pestisida termasuk kelompok yang memiliki risiko tinggi terhadap gangguan kesehatan akibat paparan pestisida yang intens (Purba et al., 2023). Paparan pestisida dalam kadar tinggi berpotensi menimbulkan keracunan bahkan dapat berujung pada kematian. Selain itu, penggunaan pestisida dapat secara langsung mencemari tubuh pengguna dan menyebabkan keracunan(Fitria Andini et al., 2023).

Kelengkapan APD meliputi pakaian panjang, masker, sarung tangan, sepatu boot, dan topi. Minimnya penggunaan APD yang dipadukan dengan frekuensi penyemprotan yang tinggi memperbesar risiko penyerapan pestisida ke dalam tubuh (Putri Widelia Welkriana dan Heti Rais, 2017).Lamanya masa kerja dan minimnya waktu istirahat memperbesar akumulasi pestisida di dalam tubuh petani. Paparan intensif dalam jangka panjang ini meningkatkan risiko keracunan kronis secara signifikan (Fitria Andini et al., 2023).

Lama penyemprotan dan frekuensi penyemprotan juga menjadi faktor resiko petani terkontaminasi pestisida. Lama penyemprotan pestisida dapat berbeda antarpetani karena dipengaruhi oleh perbedaan luas lahan yang dimiliki atau dikelola. Luas lahan pertanian yang semakin besar akan

meningkatkan durasi penyemprotan pestisida yang dilakukan oleh petani(Wulandari et al., 2020).

Frekuensi penyemprotan pestisida menyebabkan residu toksisitas pestisida dalam tubuh petani menjadi lebih tinggi. Tanaman kopi butuh dilakukan penyemprotan pestisida sebanyak 1-2 kali dalam seminggu untuk mencegah serangan hama. Perbedaan frekuensi penyemprotan yang dilakukan petani Frekuensi penyemprotan pestisida dalam satu minggu disesuaikan dengan kondisi musim, cuaca, serta tingkat serangan hama pada tanaman. Pada musim hujan atau ketika terjadi peningkatan serangan hama, intensitas penyemprotan cenderung lebih tinggi(Oktaviani et al., 2020).

5. Tinjauan Klinis

a. Kadar ureum yang tinggi (Azotemia)

Terjadi pada kondisi seperti leukemia, di mana pelepasan protein dari leukosit yang rusak meningkatkan pembentukan ureum :

- 1) Kerusakan ginjal yang memicu penurunan Laju Filtrasi Glomerulus (LFG) sehingga ekskresi ureum terhambat dan menumpuk di darah
- 2) Obstruksi saluran kadar urin (misalnya akibat pembesaran kelenjar prostat) yang menyebabkan penumpukan kembali ureum ke sirkulasi darah.

b. Kadar ureum yang rendah (Uremia)

- 1) Akhir kehamilan

Dipicu oleh peningkatan filtrasi glomerulus, penggunaan nitrogen oleh janin, serta efek retensi cairan tubuh.

2) Nekrosis hepatik akut

Kerusakan sel hati secara masif yang menghentikan metabolisme asam amino menjadi urea.

3) Sirosis hepatis

Penurunan sintesis urea di hati akibat kerusakan jaringan, malnutrisi protein jangka panjang, atau tingginya anabolisme protein (misalnya saat terapi androgen dosis tinggi pada kanker payudara) (Maghfiroh et al., 2020).

